

## МОДЕЛЮВАННЯ УТВОРЕННЯ ОКСИДІВ АЗОТУ ПРИ ЗГОРАННІ ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА

Стаднік В. А., Безносик Ю. О.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

Стадник В. А., Безносик Ю. А.

## MODELING OF THE FORMATION OF NITROGEN OXIDES DURING THE COMBUSTION OF ORGANIC FUEL

Stadnik V., Beznosyk Yu.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»  
Київ, Україна  
[stadnik\\_wlad@ukr.net](mailto:stadnik_wlad@ukr.net)

*В роботі розглядається модель утворення оксидів азоту при горіння вугільного пилу. Рішення моделі для топкових камер реалізовано у вигляді програмного продукту на C++. Використання моделі дозволить оптимізувати процес згорання пилоподібного вугілля в котлах.*

**Ключові слова:** органічне паливо, оксиди азоту, кінетична схема, математичне моделювання, теплова камера

*В работе рассматривается модель образования оксидов азота при горении угольной пыли. Решение модели для топочной камеры реализовано в виде программного продукта на C++. Применение модели позволит оптимизировать процесс сжигания пылевидного угля в топках.*

**Ключевые слова:** органическое топливо, оксиды азота, кинетическая схема, математическое моделирование, тепловая камера

*The model of formation of nitrogen oxides in the combustion of coal dust is considered in the work. The solution of the model for the combustion chamber is implemented as a software product in C ++. The application of the model will allow to optimize the process of burning pulverized coal in furnaces.*

**Keywords:** organic fuel, nitrogen oxides, kinetic scheme, mathematical modeling, thermal chamber

Важливою проблемою сьогодення є захист повітря, що виникає як наслідок недосконалої господарської діяльності людини. Зростання споживання енергії супроводжується збільшенням шкідливих викидів, що забруднюють навколишнє середовище. При цьому не менше 40% від загальної кількості що викидаються в атмосферу оксидів азоту припадає на частку теплових електричних станцій (ТЕС), що працюють на органічному паливі. Утворення оксидів азоту при горінні такого палива призводить до суттєвих порушень природної рівноваги. До основних, постійних

джерел забруднення атмосферного повітря, відносяться працюючі на вугіллі ТЕС, які постачають в атмосферу у великих кількостях крім оксидів сірки ( $\text{SO}_2$  і  $\text{SO}_3$ ) і оксидів азоту ( $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$ ), тверді частинки, а також оксиди вуглецю, альдегіди, органічні кислоти [1].

Утворення шкідливих речовин і зменшення їх викиду моделюють за допомогою реакційно-кінетичних моделей і моделі горіння вугільного пилу. Перші моделі справедливі для широкого діапазону температур і концентрацій.

Оксиди азоту  $\text{NO}_x$  утворюються в котлах трьома шляхами, і їх розділяються на три групи:

- Термічні – утворюються при високих температурах (більше 1600 К) за рахунок окислення молекулярного азоту повітря;
- Паливні – утворюються в окисному середовищі з азотистих компонентів, що містяться в пальному, при температурі 800-2100 К;
- Швидкі – утворюються при контакті проміжних вуглеводневих з'єднань палива з молекулярним азотом в присутності кисню.

В теперішній час механізм утворення термічних оксидів азоту добре вивчений. Більш важким являється моделювання утворення паливних і швидких оксидів азоту [2].

В роботі [3] запропонували вважати, що всі паливні оксиди азоту утворюються з палива. Утворення паливних  $\text{NO}_x$  відбувається і враховується одночасно з виходом і горінням летючих речовин під час розкладання азотовмісних з'єднань палива. Продуктами розкладання останніх є або активний атомарний азот  $\text{N}$  або ціанід водню  $\text{HCN}$ . Потім процес розвивається двома шляхами. Перший з них - окислення азоту або ціанідів з утворенням оксиду азоту за схемою:  $\text{N} (\text{HCN}) + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}$ . Другий шлях приводить до рекомбінації атомарного азоту  $2\text{N} \rightarrow \text{N}_2$  з утворенням молекулярного азоту.

Математична модель утворення оксидів азоту заснована на спрощених брутто-реакціях [3]:

$$\frac{dC_{N_2}}{dt} = 0.53 \cdot 10^8 \cdot \exp\left(-\frac{1000}{T_g}\right) \cdot \frac{C_N}{T_g} \quad (1)$$

$$\frac{dC_{N_r}}{dt} = \left(\frac{1}{2} + \frac{\arctg(22.2 \cdot V^p - 4.7)}{\pi}\right) \cdot 1500 \cdot \exp\left(-\frac{4500}{T^p}\right) \cdot (C_{NO} - C_{N_r}) \quad (2)$$

$$\frac{dC_{NO}}{dt} = 0.175 \cdot 10^{14} \cdot \exp\left(-\frac{3000}{T_g}\right) \cdot C_N \cdot \left(\frac{r_{O_2}}{T_g}\right)^2 + 7.75 \cdot \left(-\frac{67790}{T_g}\right) \cdot 0.79 \cdot \left(\frac{r_{O_2}}{T_g}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$C_N = C_{N_r} - C_{N_2} - \frac{M_N}{M_{NO}} \cdot C_{NO} \quad (4)$$

$$C_{NO} = \frac{1}{L \cdot a} \gamma \cdot N^p \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{0.4861 \cdot V^p + 3545 \cdot \exp\left(-\frac{10303}{T_g}\right)}{1 + 3545 \cdot \exp\left(-\frac{10303}{T_g}\right)} \quad (6)$$

де:  $C_N$ ,  $C_{N_2}$ ,  $C_{NO}$  – масові концентрації газофазних азотовмісних речовин палива, відповідно у вигляді атомарного азоту, при цьому на  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$  поширюється

узагальнена назва «атомарний азот»;  $C_{Nt}$ ,  $C_{NO}$  – повні масові концентрації виходять з палива азотовмісних речовин відповідно поточна і кінцева;  $r_{O_2}$  – об'ємна концентрація кисню;  $V^P$  – вміст (інтегральний вихід) летючих щодо маси палива;  $T_g$ ,  $T_p$  – температури відповідно газу і частинок палива;  $\gamma$  – емпірична формула.

Рівняння (2) описує динаміку виходу азотовмісних з'єднань з палива в газову фазу, рівняння (1), (3) описують динаміку генерації паливних  $NH_2$  і  $N_0$ .

Для перевірки даної математичної моделі було створено програмне забезпечення в середовищі C++ яке розраховує утворення  $NO_x$  при роботі паливної камери П-57.

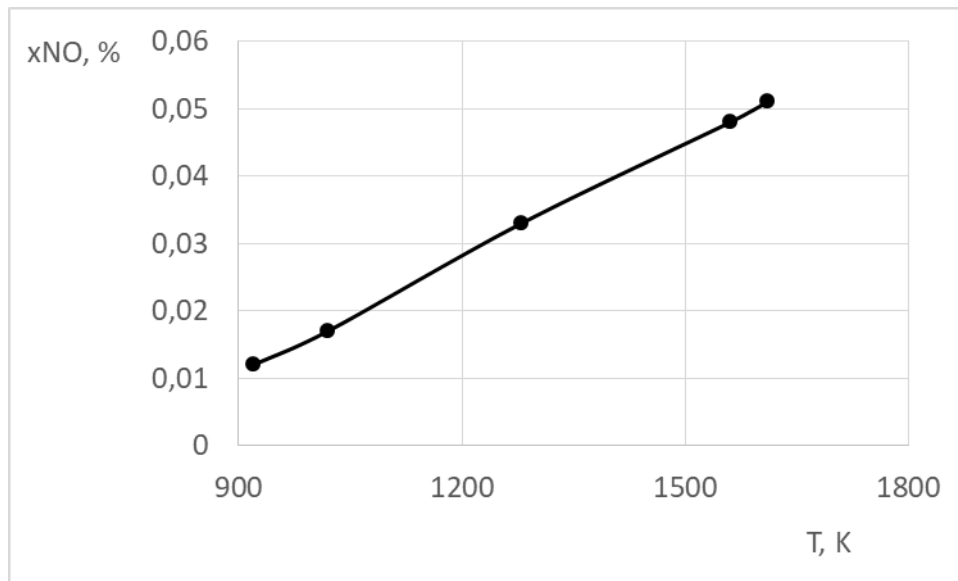


Рис 1. Вплив максимальної температури горіння на утворення оксидів азоту

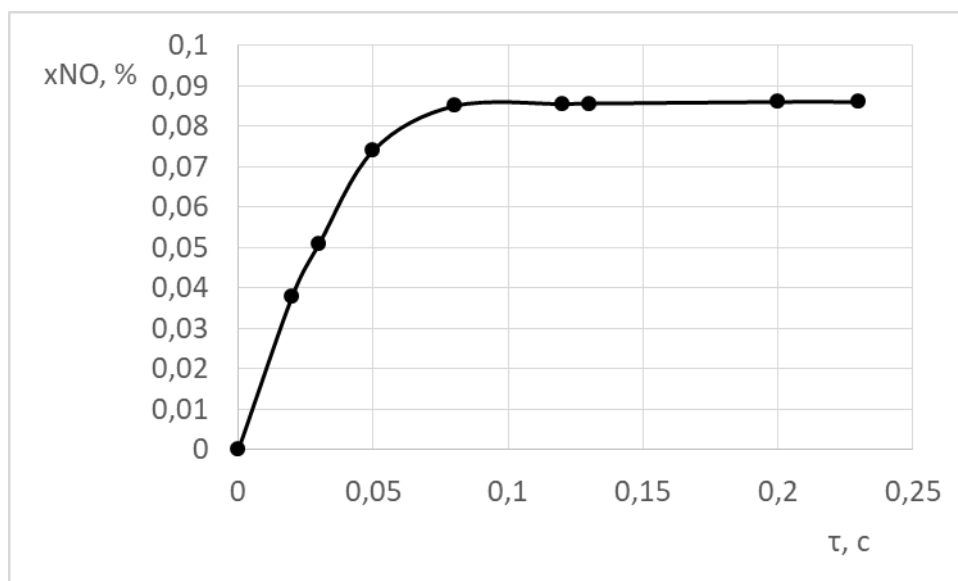


Рис 2. Динаміка утворення оксиду азоту при згоранні вугілля

Проведений розрахунок показує, що кінетична модель може бути використана для опису утворення оксидів азоту в топках котлів при згоранні вугілля.

### Література

1. Котлер В. Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов / В. Р. Котлер – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
2. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
3. Гусев, И. Н. Моделирование образования оксидов азота в топочных камерах / И. Н. Гусев, Л. И. Зайчик, Н. Ю. Кудрявцев. Теплоэнергетика, 1993. – № 1. – С. 32-36.

### ОСОБЛИВОСТІ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Бондаренко С. Г., Вовненко К. В.

### ОСОБЕННОСТИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Бондаренко С. Г., Вовненко К. В.

### WATER DISINFECTION FEATURES IN USE OF ELECTRIC DISCHARGE TECHNOLOGY

Bondarenko S., Vovnenko K.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Київ, Україна  
[bako199511@gmail.com](mailto:bako199511@gmail.com)

*У статті розглянуто можливості використання електророзрядної технології для знезараження води. Проаналізовано чинники цього впливу.*

**Ключові слова:** очищення води, знезараження, електророзрядні технології, плазмовий реактор, окиснення

*В статье рассмотрены возможности использования электроразрядной технологии для обеззараживания воды. Проанализированы факторы этого влияния.*

**Ключевые слова:** очистка воды, обеззараживание, электроразрядные технологии, плазменный реактор, окисление

*The article considers the possibilities of using electric discharge technology for water disinfection. The factors of this influence are analyzed.*

**Keywords:** water purification, disinfection, electric discharge technologies, plasma reactor, oxidation